

Е. М. Грицюк, С. Л. Гольдштейн, О. А. Семенова

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ СТРУКТУР МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ

Представлены геометрические и математические описания устойчивости структур медицинского учреждения в зависимости от эпидемиологического и информационного благополучия, с использованием понятий: конструкция типа пирамида, центр массы и его координаты, действующие силы, условия устойчивости. Приведены примеры оценки устойчивости для медицинского учреждения. Предложено использовать данный подход для предупреждения потери устойчивости, а также разработки алгоритмов и программного обеспечения с целью проведения мониторинга, расчетов и компьютерной визуализации, направленных на решение подобных задач.

Ключевые слова: медицинское учреждение, эпидемиологическое благополучие, информационное благополучие, устойчивость, моделирование.

Shows the geometrical and mathematical descriptions of stability of a structures of the medical institutions, depending on the epidemiological and informatical well-beings, using the concepts: construction of the "pyramid", center of mass and its coordinates, an acting forces, conditions stability. Examples of sustainability assessment for the medical establishment are shown. It is proposed to use this approach in order to prevent loss of stability and also to develop algorithms and software for the monitoring, calculations and computer visualization, aimed to solve such problems.

Keywords: medical institution, epidemiological well-being, informatical well-being, stability, modeling.

В литературе проблема устойчивости медицинского учреждения (далее МУ) представлена разнопланово: при парировании чрезвычайных ситуаций [1, 2], с финансовой точки зрения [3], с позиции управления персоналом [4], при обеспечении эпидемиологического благополучия [5], с учетом острой потребности в информационной поддержке [6] и т. п. Однако все эти представления ограничиваются вербальным или вербально-эмпирическим подходом [7]. В данной статье поставлена и решена задача создания графических моделей и формализованного описания статической устойчивости структур МУ на базе эпидемиологического и информационного благополучия.

Графические модели

Представим структуру функционала МУ в виде графического образа пирамиды (рис. 1), как наиболее устойчивой конструкции, слоями которой служат функции (*i*). Чем сложнее деятельность, тем больше уровней и меньше устойчивость,

а порядок заполнения слоев обусловлен правилом: без нижнего слоя следующий не действует.

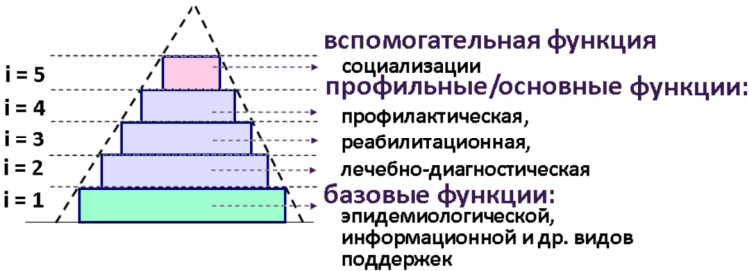


Рис. 1. Структура функционала МУ в виде пирамиды

Функции (например, базовая) обеспечивают определенное качество состояния слоя, назовем его благополучием (эпидемиологическим, информационным или др.), которое играет роль фундамента пирамиды для осуществления всей деятельности и может иметь вид прямоугольника (рис. 2), многоугольника или окружности.



Рис. 2. Схема благополучия, обеспечиваемого базовой функцией ($i=1$) основания пирамиды функционала МУ при максимально возможных значениях качества составляющих ($j=1...4$)

При этом необходимо учитывать динамические внутренние помехи (F_1) как силы неблагоприятных факторов, направленные на уменьшение благополучия (площади основания S_1). В плане эпидемиологического благополучия это могут быть: нарушение правил инфекционной безопасности, неудовлетворительное санитарное состояние помещений и систем обеспечения МУ, дефицит оборудования и расходных материалов для обеспечения асептики и антисептики, а также многие другие проблемы. Неблагоприятные изменения характеристик полноты обеспечения эпидемиологического благополучия (S_1'') снижают устойчивость конструкции, что представлено на рис. 3.

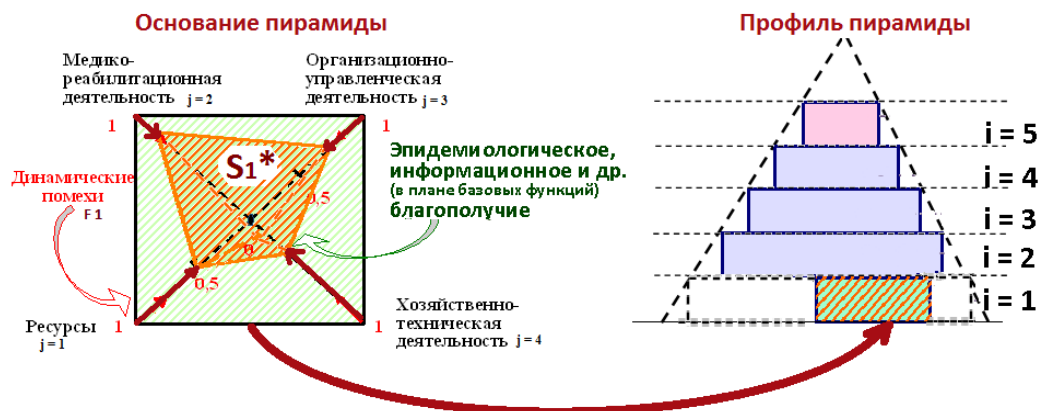


Рис. 3. Связь уменьшения профиля эпидемиологического (информационного и др.) благополучия

Эпидемиологическое благополучие (ЭБ) опишем кортежем:

$$\text{ЭБ} = \left\langle \sum_{j=1}^4, S, h, d; R \right\rangle, \quad (1)$$

где Σ — сумма предметно-содержательных характеристик, j — число углов основания (ресурсы и службы обеспечения деятельности: медицинская, управленческая, техническая), S — площадь основания (полнота обеспечения состояния благополучия), h — его высота (величина вклада в общее качество деятельности МУ), d — плотность материала основания (вес или значимость), R — матрица связи.

Величина S дает прогноз о вероятности «опрокидывания» пирамиды, а d — о разрушении слоя от чрезмерной нагрузки, т.е. тоже о нарушении устойчивости [2]. Величина d — вес или значимость каждого функционального слоя, определяется лицом, принимающим решения в баллах от 0 до 1. Если основание имеет вид круга, тогда справедливо:

$$S_i = \pi r_i^2, \quad (2)$$

где r — радиус основания (полноты обеспечения состояния благополучия).

Основную характеристику устойчивости — положение центра масс (Y_0) [8], определим с помощью радиуса (r_0).

$$Y_0 = f(r_0), \quad (3)$$

где r_0 — радиус основания (полноты обеспечения состояния благополучия) того функционального слоя, на уровне которого располагается центр масс.

Если горизонтальная проекция Y_0 выходит за границы площади основания S , конструкция теряет равновесие, что происходит при уменьшении s или при слишком высоком расположении центра масс (рис. 4).

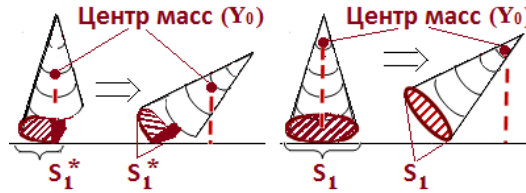


Рис. 4. Влияние Y_0 на устойчивость

При этом положение r_0 определяется следующим образом:

$$r_0 = \sum_{i=1}^m (r \cdot m)_i / \sum_{i=1}^m m_i, \quad (4)$$

где m — влияние каждого слоя (m_1 — эпидемиологического благополучия) на общую устойчивость конструкции и вычисляется произведением:

$$m_i = (V \cdot d)_i, \quad (5)$$

где V — объем пространства эпидемиологической деятельности, которое зависит от полноты обеспечения состояния благополучия (S) и величины вклада в общее качество деятельности МУ (h) следующим образом:

$$V_i = (S \cdot h)_i. \quad (6)$$

Аналогично представимо и информационное благополучие, зависящее от качества защиты информации, видов обеспечения автоматизированных систем, ресурсов и т. д.

Свойства основания определяют устойчивость конструкции, в первую очередь за счет докритичных значений S и d , при которых имеется возможность восстановления устойчивости. На рис. 5 показаны варианты устойчивости абстрактной n -слойной структуры типа пирамида в координатах «факторы неустойчивости» (ФНУ) — по занимаемому месту в рейтинге: учреждение-лидер / отстающее учреждение; МР — вклад слоев в общую устойчивость конструкции; ВК — вклад слоев в качество деятельности».

Первое представление о факторах устойчивости дает табл. 1, в которой приведены соотношения сил и положений, определяющие то или иное состояние устойчивости на рис. 5.

Таблица 1

Устойчивость структуры в зависимости от соотношения сил и положений

Состояние	Соотношения сил и положений*		
	давление / прочность	сила трения / внешняя сила	Y_0 / S_1
устойчивое	$p < g$	$F_3 / -$	$Y_0 \in S_1$
наклон: с упором или без	$p < g$	$F_3 / -$	$Y_0 > S_1$
падение / опрокидывание	$p < g$	$F_3 > F_2$	$Y_0 \gg S_1$
скольжение / сдвиг	$p \geq g$	$F_3 \leq F_2$	$Y_0 \in S_1$

* p — вес конструкции, g — прочность ее слоев, F_3 — сила трения, F_2 — внешняя опрокидывающая сила, Y_0 — центр массы, S_1 — площадь основания.

На рис. 5 вариант а) обеспечен достаточными значениями прочности и площади основания, вариант б) обусловлен уменьшением площади основания, вариант г) возможен при уменьшении силы трения (например, за счет разрушения основания до «песка», по которому скользит (или катится) конструкция).

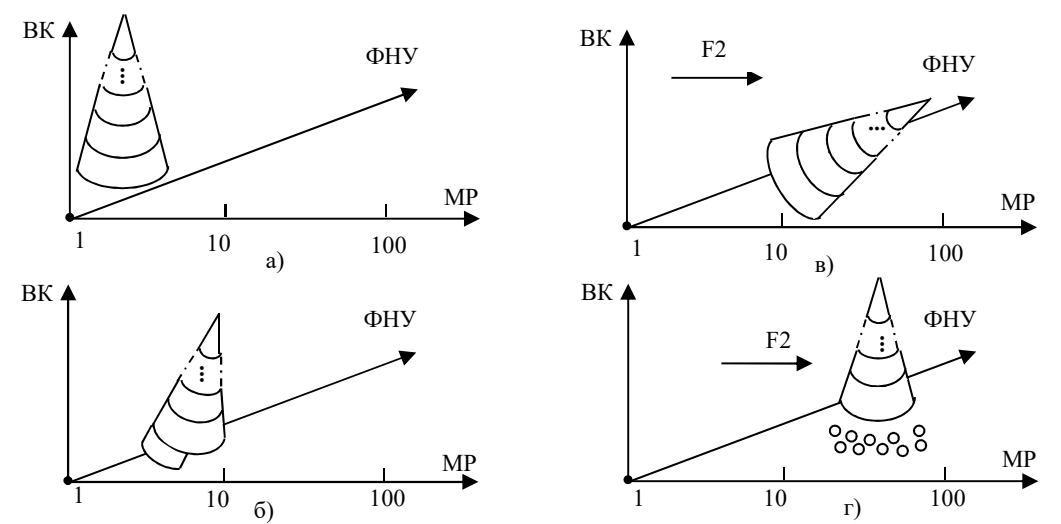


Рис. 5. Графический образ вариантов устойчивости *n*-слойной структуры типа «пирамида»:

- а) устойчивость; б) неустойчивость типа «наклон» с упором или без; в) неустойчивость типа «падение/опрокидывание», г) неустойчивость типа «скольжение/сдвиг»)

Второе представление о факторах устойчивости дает система действующих сил в вариантах, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Пример вариантов устойчивости и их факторов

Вариант на рис. 5	Фактор неустойчивости (ФНУ)	Действующие силы*				
		p	N	F_1	F_2	F_3
а)	Нет	+	+	–	–	+
б)	Уменьшение прочности и объема основания	+	+	+	–	+
в)	$F_2 \leq F_3$	+	+	+	+	+
г)	$F_2 > F_3$	+	+	+	+	+

* p — вес конструкции, N — реакция опоры, F_1 — динамические внутренние помехи, F_2 — динамические внешние помехи — опрокидывающая сила, F_3 — сила трения

Здесь уместны следующие замечания. Опора должна выдерживать вес конструкции. Помехами или угрозами основанию могут быть силы внутренних динамических помех (F_1), как показано на рис. 3. Опрокидывающая сила внешних динамических помех (F_2) может быть представлена, например, ухудшением эпидемиологической ситуации в регионе, стране, мире (эпидемия высокопатогенного гриппа А (H_1N_1)), влиянием реформ здравоохранения и общеэкономического кризиса.

А сила трения (F_3) — сцеплением конструкции со средой существования, а также ее элементов между собой (за счет развития сотрудничества между подразделениями и внешними организациями).

Третье представление об устойчивости может быть описано следующими производственными правилами:

$$\text{if } x_R \in S_{r1} \text{ and } Y_R \leq Y'_R \text{ and } |p| = |N| \neq 0 \text{ then } C::=a) \text{ else} \quad (7.1)$$

$$\text{if } S_{r1} \downarrow \text{ and } x_R \leq r1 \text{ and } F_1 \leq F'_1 \text{ then } C::=б) \text{ else} \quad (7.2)$$

$$\text{if } F_1 = 0 \text{ and } F_2 \leq F_3 \text{ then } C::=в) \text{ else} \quad (7.3)$$

$$\text{if } F_1 = 0 \text{ and } F_2 > F_3 \text{ then } C::=г). \quad (7.4)$$

Здесь надстрочным индексом (') отмечены критичные значения; а), б), в), г) — варианты в соответствии с рис. 5.

Примеры оценки значений устойчивости медицинского учреждения

Поэтапно оценим положение центра массы, а также условия устойчивости, наклона, опрокидывания и сдвига для структуры функционала МУ.

Этап 1

Оценка положения центра массы структуры функционала МУ (на примере НПЦ «Бонум»).

Дано: радиус i -го слоя, как охват служб МУ в виде экспертных значений; четыре ситуации, моделирующие распределение тяжести слоев. Высота (h_i) слоев принята одинаковой. Расчет r_0 проведен по моделям (4–6), Y_0 — по рис. 6, а исходные данные и результаты сведены в табл. 3.

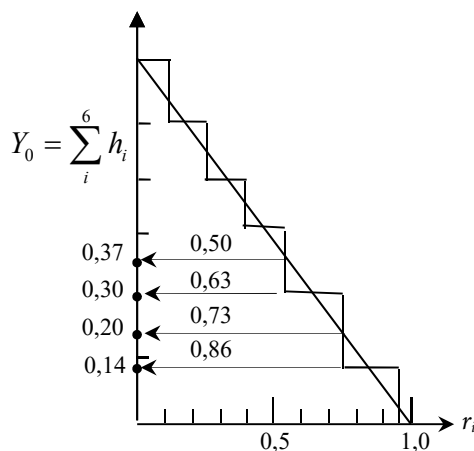


Рис. 6. Графическое определение Y_0 (количество слоев взято из табл. 3)

Видно, что значения Y_0 меняются в 2,5 раза для рассмотренных ситуаций в варианте а). Уместно резюме: координата Y_0 может быть индикатором (маркером) для оценки предпосылок к неустойчивости — чем больше Y_0 , тем больше таких

предпосылок. Т. е. в крайнем случае при легком основании и тяжелой вершине конструкция предельно неустойчива. Следствие: основанию следует уделять самое пристальное внимание. Эти выводы, очевидные с технической точки зрения, забываются в суеде практической деятельности МУ.

Таблица 3

Расчет координаты Y_0 центра масс «пирамиды» структуры функционала МУ на примере НПЦ «Бонум»

Слои		Значимость (d) по ситуациям:**				r_i , охват служб МУ	$S_i = \pi r_i^2$	h_i	$V_i = (S \cdot h)_i$
i	Наименование*	1	2	3	4				
1	ЭБ	0,30	0,10	0,01	0,01	1,00	3,10	0,15	0,470
2	Д	0,15	0,16	0,22	0,04	0,75	1,80		0,270
3	Л	0,15	0,16	0,22	0,15	0,55	0,95		0,140
4	Р	0,15	0,16	0,22	0,30	0,40	0,50		0,080
5	П	0,15	0,30	0,22	0,40	0,25	0,20		0,030
6	С	0,10	0,10	0,11	0,10	0,12	0,05		0,008

Слои		$m_i = (V \cdot d)_i$ по ситуациям:				r_0 , по ситуациям:				Y_0 , по ситуациям:			
i	Наименование*	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ЭБ	0,140	0,050	0,005	0,005	0,86	0,73	0,63	0,56	0,14	0,20	0,30	0,37
2	Д	0,270	0,040	0,060	0,010								
3	Л	0,140	0,020	0,030	0,020								
4	Р	0,080	0,010	0,018	0,024								
5	П	0,030	0,005	0,007	0,012								
6	С	0,008	0,0008	0,0008	0,0008								

* ЭБ — эпидбезопасность, Д — диагностика, Л — лечение, Р — реабилитация, П — профилактика, С — социализация.

** Ситуации: 1 — тяжелый 1-й слой, 2 — тяжелый 5-й слой, 3 — легкий 1-й слой, 4 — легкий 1-й слой, тяжелые 5-й и 6-й слой.

Этап 2

Оценка условий наклона и опрокидывания медицинских структур без внешней силы.

Без внешней силы наклон и опрокидывание возможны вследствие уменьшения площади основания, как это показано на рис. 3. Эту ситуацию поясняет рис. 7. Видно, что уменьшение радиуса нижнего слоя круговой конструкции может привести к реализации варианта б) (см. рис. 5) и даже опрокидыванию без внешней силы.

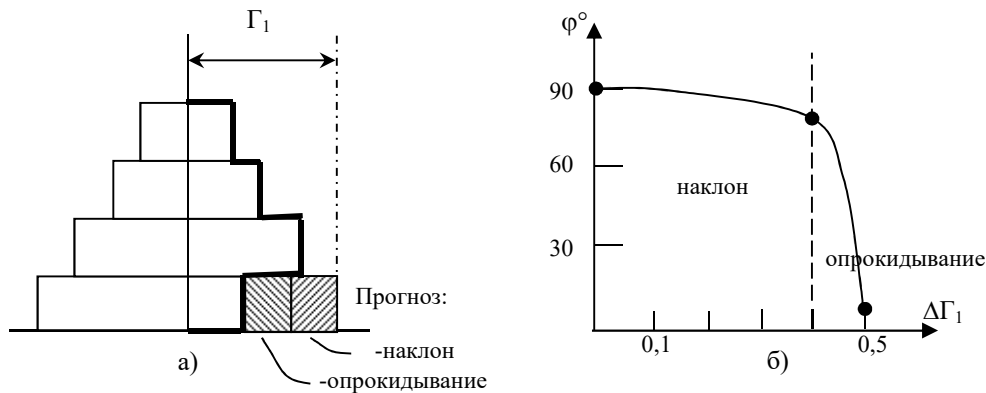


Рис. 7. Схема а) и зависимости б) ситуаций наклона и опрокидывания при уменьшении r_1 за счет влияния помех на характеристики основания

Этап 3

Оценка условий опрокидывания и сдвига / скольжения МУ под действием внешней силы.

С учетом правила (7.4) рассмотрим составляющие силы трения [9] медицинской конструкции об опору:

$$F_3 = F_3^{\Pi} + F_3^C, \quad (8)$$

где индексы «П» и «С» относятся к трению покоя и скольжения следовательно;

$$F_3^{\Pi} = \sum_{k=1}^m (F_{3B3}^{\Pi} \cdot \alpha_{B3}^{\Pi})_k, \quad (9)$$

где F_{3B3}^{Π} — силы взаимодействия конструкции с опорой, α_{B3}^{Π} — вес, k — управляющая переменная для перебора слагаемых;

$$F_3^C = f \cdot p, \quad (10)$$

где p — вес конструкции, f — коэффициент трения скольжения.

Для МУ силы $(F_{3B3}^{\Pi})_k$ могут иметь в качестве содержательного наполнения прочность при:

- $k = 1$ — положения МУ во внешней среде (министерство здравоохранения, однопрофильные учреждения и т. п.);
- $k = 2$ — связи администрации с подразделениями МУ;
- $k = 3$ — связей между подразделениями МУ;
- $k = 4$ — связи руководства подразделений с исполнителями;
- $k = 5$ — связи между исполнителями.

Пример экспертных оценок в диапазоне от 0 до 1 приведен в табл. 4.

Таблица 4

Оценка силы взаимодействия F_3^{Π} , обеспечивающей трение покоя*

k	1	2	3	4	5
-----	---	---	---	---	---

F_3^H в МУ НПЦ «Бонум»	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4
--------------------------	-----	-----	-----	-----	-----

* по модели IDEF [7].

Видно, что значения сил трения покоя незначительны, следовательно возможен неприятный вариант сдвига этих конструкций вниз по рейтингу. Силы трения скольжения (F_3^C) вряд ли смогут сдержать этот сдвиг как при наличии смазки (разные факторы, например, незнание правил игры в рейтинг, какие-либо накопившиеся прежние нарушения и т. п.), так и без нее.

Этап 4

Оценка условий качения МУ под действием внешней силы.

Момент сопротивления качению: $M = \delta \cdot p$, где δ — коэффициент трения качения [9]. В качестве катков могут выступать округлые остатки основания конструкции при его разрушении или привнесенные извне элементы.

Примеры по всем четырем этапам позволяют сделать вывод о прогностических возможностях предложенного подхода, который целесообразно поддерживать программными средствами мониторинга, расчетов и мультимедийной компьютерной визуализации [10].

О перспективе практической реализации

Практическая реализация предложенного подхода возможна путем:

- разработки пакета алгоритмических моделей мониторинга, расчета характеристик, визуализации объектов и ситуаций, выработки подсказки, поддержки подготовки и принятия управленческих решений;
- составления технического задания и проектной документации;
- последующего кодирования алгоритмов до программного обеспечения;
- создания специализированной организационно-технической структуры в составе МУ.

Результаты и выводы

1. Поставлена задача создания графических моделей и формализованного описания статической устойчивости структур МУ на базе эпидемиологического и информационного благополучия.
2. Созданы графические модели структур типа пирамида, отражающие слои конструкции, устройство основания и варианты устойчивости.
3. Дано формализованное описание устойчивости симметричной медицинской конструкции типа пирамида с использованием понятий: центр массы и его координаты, действующие силы, условия устойчивости.
4. Приведены примеры оценки устойчивости для МУ в целом.
5. Сделаны выводы о прогностических возможностях предложенного подхода для предупреждения потери устойчивости рассмотренных структур; о достаточности этих наработок для создания алгоритмов и программного обеспечения монито-

ринга, расчетов и компьютерной визуализации, направленных на решение подобных задач.

Литература

1. Тихомилов С. Мероприятия по повышению устойчивости функционирования лечебно-профилактического учреждения в чрезвычайных ситуациях // URL: <http://prizvanie.su/?p=1972>.
2. Аминов Р. Медицина катастроф: метод. Пособие. Тема 4. URL: <http://www.twirpx.com/file/1180673>).
3. Забродская Л. Финансирование как фактор устойчивости развития учреждения здравоохранения (URL: <http://www.economika-st.ru/economika/economika-zdrav/>).
4. Самохина Л. В, Салошник В. М., Аветян К. Р. Управление персоналом как фактор устойчивости функционирования учреждения здравоохранения в условиях рынка медицинских услуг // Вестник общественного здоровья Дальнего Востока. ДГМУ, 2010. 7 с. URL: <http://vozzdrrv.fosmu.ru/20101/20101/3.pdf>.
5. Результаты мониторинга устойчивости к дезинфектантам у микрофлоры лечебно-профилактических учреждений // Главная медицинская сестра. № 9. 2009. URL: <http://www.zdrav.ru/articles/practicl/detail.php?ID=76020>.
6. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения. [федер. закон: принят Гос. Думой 30.03.1999 г.
7. Самосудов М. В. Механизмы управления системной устойчивостью компании // Современная конкуренция. 2008. № 4.
8. Центр масс тела. URL: http://pace.ru/tsentr_mass_tela_ravnovesie_massa_tela
9. Ильин Н. И., Демидов Н. Н., Новикова Е. В. Ситуационные центры. М.: МедиаПресс, 2011. 336 с.